

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



06. 04. 2004

REC'D 27 APR 2004

WIPO

PCT

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 16 094.9

Anmeldetag: 08. April 2003

Anmelder/Inhaber: EUROCOPTER DEUTSCHLAND GmbH,
86609 Donauwörth/DE

Bezeichnung: Gelenkloser Rotor sowie Drehflügelflugzeug mit
einem solchen Rotor

IPC: B 64 C 27/48

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 11. März 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Wallner

5

TECHNISCHES GEBIET

10

STAND DER TECHNIK

15

25

30

werden kann, wird oft eine Trennstelle zwischen dem Strukturelement und dem Rotorblatt eingebaut. Der auftriebserzeugende Rotorblattbereich erstreckt sich von dieser Trennstelle bis zum äußersten Ende des Rotorblattes, d.h. bis zur Rotorblattspitze hin.

5

Der Blatthals des Strukturelements besitzt in der Regel den schlagweichen Bereich, der eine fiktive, horizontal orientierte Achse (auch fiktives oder virtuelles Schlaggelenk genannt) bildet, um welche das Rotorblatt Schlagbewegungen ausführt. Der Abstand zwischen dem fiktiven Schlaggelenk bis zur Rotorachse wird als Schlaggelenksabstand bezeichnet. Bei konventionellen gelenklosen Rotoren ist der sog. fiktive oder virtuelle Schlaggelenksabstand relativ groß und beträgt ca. 8 bis 12 % der Länge des Rotorkreisradius, gemessen von der Rotorachse in radialer Richtung nach außen zur Blattspitze hin.

10

Ein großer Schlaggelenksabstand eines gelenklosen Rotors führt im Betrieb zwar einerseits zu einer hohen Steuerfolgsamkeit und Wendigkeit des Hubschraubers, andererseits aber insbesondere zu einer hohen Schlageigenfrequenz. Diese relativ hohe Schlageigenfrequenz und die daraus resultierenden Vibrationen beim lagerlosen Rotor sind nachteilig für die Flugeigenschaften des Hubschraubers und führen zu hohen Belastungen des Blattanschlusses und des Blatthalses. Blattanschluss und Blatthals müssen deshalb entsprechend stark dimensioniert sein, um der den auftretenden Beanspruchung zu widerstehen. Bei herkömmlichen Hubschrauberrotoren wird aus diesen Gründen eine niedrige Schlag- und Schwenkeigenfrequenz angestrebt.

20

25

Infolge der hohen Belastungen des Rotorblattes und Blattanschlusses beim lagerlosen Rotor und der diesbezüglich zu gewährleistenden Festigkeit dieser Komponenten ist es äußerst schwierig, den Schlaggelenksabstand zu reduzieren bzw. unter einen bestimmten Wert zu bringen. Ein geringer Schlaggelenksabstand würde bei konventionellen lagerlosen Rotoren die Haltbarkeit und Lebensdauer des jeweiligen Rotorblattes erheblich reduzieren, was nachteilig oder sogar gefährlich ist. Andererseits wäre für diverse Einsatzzwecke ein niedriger Schlaggelenksabstand

30

jedoch erstrebenswert, da Hubschrauber mit einem derartigen Rotor von Piloten, Besatzung und Fluggästen allgemein als komfortabler empfunden werden.

5 Ein großer Schlaggelenkabstands kann auch aus aerodynamischer Sicht nachteilig sein, da der Gesamtluftwiderstand der von der Rotorachse bis zum fiktiven Schlaggelenk reichenden Rotorelemente, insbesondere des o.g. Strukturelementes, recht hoch ist und darüber hinaus dieser Bereich, der einen relativ großer Anteil des Rotorradius einnimmt, nicht für einen aerodynamisch wirksamen Bereich des Rotorblattes genutzt werden kann.

10

Aus der DE 19837802 C1 ist ein gelenkloser Rotor für ein Drehflügelflugzeug bekannt, umfassend einen Rotorkopf, einen Rotormast mit einer Rotorachse, ein drehfest mit dem Rotormast verbundenes Drehmomentenübertragungselement, mindestens ein Auftrieb erzeugendes Rotorblatt sowie einen rotorkopfseitigen Rotorblattanschluss. Bei Rotoren der zuvor genannten Art umfasst der rotorkopfseitige Rotorblattanschluss neben dem weiter oben bereits beschriebenen Strukturelement in der Regel mindestens zwei Bolzen, die im Wesentlichen radial zur Rotationsachse des Rotors bzw. des Rotorblattes angeordnet sind. Über diese Bolzen wird das Schlagmoment und das Schwenkmoment abgesetzt. Das Strukturelement kann hierbei durch obere und untere Auflageflächen auf der Rotorkopfplatte abgestützt sein. Auch bei dieser Konstruktion existieren die zuvor erläuterten Nachteile.

15

20

Bei herkömmlichen gelenklosen Rotoren für konventionelle Hubschrauber wird eine niedrige Schlag- und Schwenkeigenfrequenz angestrebt, was durch schlag- und schwenkweiche Rotorblattanbindungen realisiert wird. Bei speziellen Rotoren, wie z.B. Kipprotoren (auch Tilt-Rotoren genannt) von Kipprotorhubschraubern bzw. -flugzeugen, ist aus folgenden Gründen jedoch eine andere Auslegung anzustreben: Wird der Rotor so konzipiert, dass die Schwenkeigenfrequenz des Rotors unter der sog. Anregungsfrequenz liegt, so entsteht ein erhöhtes Anregungspotential für Boden- und Luftresonanzen. Diese Resonanzerscheinungen werden bei herkömmlichen Rotoren durch Dämpfer kontrolliert. Die im Gegensatz zu einer

25

30

- steifen Zelle eines konventionellen Hubschraubers weiche Aufhängung der Kipprotoren am Flügel eines Kipprotorhubschraubers hingegen verursacht unerwünschte Kopplungen zwischen der Flügeigenfrequenz und der Schwenkfrequenz, wenn eine Auslegung unter der Anregungsfrequenz erfolgt.
- 5 Diese Gründe führen dazu, dass bei Kipprotoren ein schwenksteifer Rotor gefordert wird. Konventionelle gelenklose Rotoren sind für Kipprotoranwendungen daher nicht geeignet und würden zu Festigkeits- und Sicherheitsproblemen führen.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

10

Der Erfindung liegt die Aufgabe beziehungsweise das technische Problem zugrunde, einen neuartigen gelenklosen Rotor zu schaffen, der über verbesserte aerodynamische und mechanische Eigenschaften sowie einen möglichst geringen fiktiven bzw. virtuellen Schlaggelenkabstand verfügt. Der Rotor soll hierbei in

15 mindestens einer Ausführungsform auch als Kipprotor geeignet sein. Ferner soll ein Drehflügelflugzeug mit einem solchen Rotor bereitgestellt werden.

Die zuvor genannte Aufgabe wird gemäß einem ersten Aspekt gelöst durch einen erfindungsgemäßen Rotor mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

20

Dieser gelenklose Rotor, insbesondere für ein Drehflügelflugzeug, umfasst einen Rotorkopf, einen Rotormast mit einer Rotorachse, ein drehfest mit dem Rotormast verbundenes Drehmomentenübertragungselement (z.B. einen Rotorkopfsterm, eine Rotorkopfplatte, oder dergleichen), mindestens ein Rotorblatt (vorzugsweise jedoch

25 mehr als zwei Rotorblätter) und einen rotorkopfseitigen Rotorblattanschluss mit einer fliehkraftabtragenden Blattanschlussschleife, welche Rotorachse A bzw. den Rotormast umschlingt und mit dem Drehmomentenübertragungselement drehfest verbunden ist.

30

Bei der erfindungsgemäßen Lösung ist der Blattanschluss also um die Rotorachse bzw. den Rotormast herum geführt. Eine Umschlingung nur der Rotorachse kann beispielsweise dann vorliegen, wenn der Rotormast selbst in axialer Richtung

unterhalb der Blattanschlussschlaufen endet und nicht direkt durch die Schlaufen hindurchgeführt, was bei bestimmten Rotormastanbindungen der Fall sein kann. Zwischen der Blattanschlussschlaufe und dem Rotormast besteht vorzugsweise keine direkte Verbindung bzw. kein direkter Kontakt. D.h., die Blattanschlussschlaufe umschlingt den Rotormast vorzugsweise anbindungsfrei, wie nachfolgend noch im Detail erläutert werden wird. Zur Lastabtragung der Rotorblatt-Fliehkräfte ist die Blattanschlussschlaufe entweder mit dem Drehmomentenübertragungselement (bzw. einer Komponente davon) und/oder direkt oder indirekt (z.B. über ein Zwischenelement) mit der Blattanschlussschlaufe von mindesten einem weiteren Rotorblatt verbunden. Die Blattanschlussschlaufe geht an ihrer der Rotorblattspitze zugewandten Seite zweckmäßiger Weise in einen Schlaufenfußbereich oder einen Rotorblattthals über bzw. besitzt eine Trennstelle zur lösbaren Anbindung an einen Rotorblattthals.

Der erfindungsgemäße gelenklöse Rotor verfügt über verbesserte aerodynamische und mechanische Eigenschaften sowie einen sehr geringen fiktiven bzw. virtuellen Schlaggelenkabstand. Mittels der Blattanschlussschlaufe des erfindungsgemäßen Rotors sind auch bei einem mehrblättrigen Rotor identische Rotorblattanschlüsse bereitstellbar. Über die Blattanschlussschlaufe ist ein jeweiliges Rotorblatt sehr biegeweich bzw. mit einer größeren Anschlussweichheit und mit einem kleinen, d.h. gegenüber konventionellen gelenklosen Rotoren erheblich verringerten fiktiven Schlaggelenksabstand, am Rotorkopf zu befestigen.

Da die Blattanschlussschlaufe in der Regel keine direkte Anbindung zum Rotormast besitzt, also gegenüber dem Rotormast frei beweglich ist, und baulich sehr flach und aerodynamisch günstig ausführbar ist, kann sich die Schlaufe bis zur Rotorachse - oder sogar über die Rotorachse hinweg - in Schlagrichtung nahezu ungehindert elastisch verbiegen. Der daraus resultierende fiktive Schlaggelenkabstand kann deshalb bis zu 0% betragen. Dadurch ist ohne diskrete Bauteile und nur durch die Elastizität bzw. Biegsamkeit der Blattanschlussschlaufe und/oder angrenzender Rotorblattbereiche z.B. ein sog. Gimbalrotor realisierbar. Ein Rotor mit einem geringen Schlaggelenkabstand wird von Passagieren eines

Drehflügelflugzeugs vom Flugverhalten her als angenehm empfunden. Zudem gestattet die erfindungsgemäße Ausgestaltungsweise eine Reduzierung der am Rotor auftretenden Vibrationen und eine Verbesserung des Flugverhaltens bzw. der Flugeigenschaften.

5

Die Blattanschlussschlaufe bzw. ihr Schlaufenfußbereich kann überdies ein fiktives Schwenkgelenk ausbilden und zudem bei Bedarf sehr verdrehweich ausgestaltet werden, so dass sich auf einfache Art und Weise eine lagerlose Blattwinkelverstellung realisieren lässt. Die Blattanschlussschlaufe bzw. Teilbereiche davon können also zusätzlich die Funktion eines sehr kurzen und kompakten Drillelementes zur Blattwinkelverstellung übernehmen. Zumindest Teilbereiche der Blattanschlussschlaufe und/oder angrenzender Rotorblattbereiche können hierbei z.B. durch eine sog. Steuertüte verkleidet sein.

10

Darüber hinaus ist die zur Ausbildung des virtuellen Schlaggelenks erforderliche Teillänge des zur Verfügung stehenden Rotorkreisradius gegenüber konventionellen gelenk- bzw. lagerlosen Rotoren sehr gering. Die so eingesparten Abschnitte des Rotorkreisradius stehen ergo für aerodynamisch wirksame Profilbereiche eines Rotorblattes zur Verfügung. Der Luftwiderstand wird somit reduziert und der Auftrieb erhöht. In Verbindung mit der per se sehr dünn bzw. flach ausführbaren Bauweise der Rotorblattanschlussschlaufe wird folglich die aerodynamische Güte des Rotors verbessert. Der erfindungsgemäße Rotor kann grundsätzlich sowohl mit einer hohen als auch geringen Schwenksteifigkeit ausgestaltet werden, wobei die Schlag- und Schwenksteifigkeit nahezu unabhängig voneinander konstruktiv voreinstellbar ist. Die breite Schlaufenform des Blattanschlusses bzw. des Schlaufenfußbereichs sowie weitere in diesem Zusammenhang mögliche bauliche Maßnahmen, die nachstehend im Detail erläutert werden, ermöglichen jedoch insbesondere die einfache Ausführung einer schwenksteifen Anbindung der Rotorblätter an den Rotorkopf.

20

25

30

Dies ist in Verbindung mit dem erzielbaren geringen Schlaggelenkabstand von bis zu 0% für spezielle Anwendungsfälle, wie zum Beispiel bei einem Kipprotor für

einen Kipprotorhubschrauber oder ein Kipprotorflugzeug, von großem Vorteil. Denn auf diese Weise lassen sich die ansonsten beim Kippen des Kipprotors in Verbindung mit einer Schlagbewegung des Rotorblattes entstehenden Schwenkverformungen aus Corioliskräften vermeiden. Somit ist eine den auftretenden Belastungen vorteilhaft angepasste Bauweise und eine hohe Festigkeit des Rotors bei gleichzeitig geringem Gewicht erreichbar. Bei einer schwenksteifen Konstruktion eines Rotors mit großem Schlaggelenkabstand und folglich ungeminderter Corioliskraft hingegen kann es u.U. unmöglich werden, eine hinreichende Stabilität des Kipprotors zu gewährleisten.

10

Mit Hilfe des erfindungsgemäßen Schlaufenprinzips ist es des Weiteren möglich, den Rotormast sowie ggf. weitere Zusatzelemente der Blattanschlussschleife fliehkraftfrei, d.h. von dem im laufenden Rotorbetrieb auf die Rotorblätter wirkenden sehr hohen Fliehkräfte unbelastet, zu halten. Dies wird nachfolgend noch ausführlich beschrieben werden. Diese vorteilhafte Wirkung ist insbesondere bei mehrblättrigen Rotoren sehr einfach zu erzielen. Je nach Ausgestaltungsweise des Rotors können sich die Fliehkräfte von jeweils gegenüberliegenden Rotorblättern sogar gegenseitig aufheben. Die Fliehkraft wird hierbei sehr günstig über den relativ großen Schlaufendurchmesser, der mindestens dem Durchmesser des Rotormastes entspricht, in der Regel aber größer sein sollte, abgesetzt.

15

20

Weitere bevorzugte und vorteilhafte Ausgestaltungsmerkmale des erfindungsgemäßen Rotors sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 18.

25

Die oben genannte Aufgabe wird gemäß einem zweiten Aspekt gelöst durch ein erfindungsgemäßes Drehflügelflugzeug mit den Merkmalen des Anspruchs 19. Mit dem erfindungsgemäßen Drehflügelflugzeug sind im Wesentlichen die gleichen Vorteile zu erzielen, wie sie bereits weiter oben im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Rotor erläutert wurden.

30

Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung mit zusätzlichen Ausgestaltungsdetails und weiteren Vorteilen sind nachfolgend unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher beschrieben und erläutert.

5 KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

Es zeigt:

- 10 Fig. 1 eine schematische, stark vereinfachte perspektivische Darstellung eines erfindungsgemäßen Rotors gemäß einer ersten Ausführungsform;
- Fig. 2 eine schematische, stark vereinfachte perspektivische Darstellung eines einzelnen Rotorblattanschlusses des Rotors von Fig. 1;
- 15 Fig. 3 eine schematische Seitenansicht des Rotors von Fig. 1 in Blickrichtung der Pfeile III-III in Fig. 1; und
- 20 Fig. 4 eine schematische, stark vereinfachte perspektivische Darstellung eines erfindungsgemäßen Rotors gemäß einer zweiten Ausführungsform.

DARSTELLUNG VON BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSBEISPIELEN

- 25 In der nachfolgenden Beschreibung und in den Figuren werden zur Vermeidung von Wiederholungen gleiche Bauteile und Komponenten auch mit gleichen Bezugszeichen gekennzeichnet, sofern keine weitere Differenzierung erforderlich ist.
- 30 Fig. 1 zeigt eine schematische, stark vereinfachte perspektivische Darstellung eines erfindungsgemäßen gelenklosen Rotors gemäß einer ersten Ausführungsform. In der Fig. 2 ist eine schematische, stark vereinfachte perspektivische Darstellung

eines einzelnen Rotorblattanschlusses des Rotors von Fig. 1 veranschaulicht. Der erfindungsgemäße gelenklose Rotor, der hier gleichzeitig als lagerloser Rotor ausgestaltet ist, umfasst einen Rotorkopf 2, einen Rotormast 4 mit einer Rotorachse A und ein drehfest mit dem Rotormast 4 verbundenes Drehmomenten-
5 Übertragungselement 6, welches in diesem Beispiel als ein kreuzförmiger Rotorkopfsterne 6 mit vier Armen 6a ausgestaltet ist. Ferner ist der Rotor mit vier gleichartigen Rotorblättern 8 ausgestattet, von denen jedes einem jeweiligen Arm 6a zugeordnet ist.

10 Für jedes Rotorblatt 8 umfasst der Rotor einen rotorkopfseitigen Rotorblattanschluss mit einer fliehkraftabtragenden Blattanschlussschleife 10, welche den Rotormast 4 anbindungsfrei umschlingt und mit dem Rotorkopfsterne 6 drehfest verbunden ist. Die Blattanschlussschleife 10 ist im Wesentlichen aus Faserverbundwerkstoff gefertigt und bildet ein Strukturelement mit einem schlag-, schwenk- und torsionsweichen
15 Bereich. Wie in den Fig. 1 und 2 erkennbar, erstreckt sich die Blattanschlussschleife 10 in Längsrichtung L des zugehörigen Rotorblattes 8 und ist in diesem Ausführungsbeispiel integraler Bestandteil des Rotorblattes 8. Grundsätzlich kann die Blattanschlussschleife 10 jedoch auch als ein vom Rotorblatt 8 separates Bauteil ausgestaltet sein und zum Beispiel über eine
20 Trennstelle lösbar mit dem Rotorblatt 8 verbunden werden. Wie in den Zeichnungen erkennbar, ist die Blattanschlussschleife 10 länglich ausgebildet. Die Schlaufenöffnung liegt in einer zur Rotorachse A im Wesentlichen parallelen Richtung. Die Blattanschlussschleife 10 ist in diesem Fall in sich geschlossen ausgebildet und geht an ihrer einen Rotorblattspitze (nicht gezeigt) zugewandten
25 Seite in einen Schlaufenfußbereich 10a über, der an einen Rotorblattthals angrenzt. An diesem Schlaufenfußbereich 10a laufen die beiden Schlaufenarme 10b, 10c des Schlaufenstrangs allmählich zusammen.

Grundsätzlich kann die Blattanschlussschleife 10 jedoch auch offen ausgebildet
30 sein und über mindestens ein Schlaufenschließelement zum Verschließen der offenen Blattanschlussschleife 10 verfügen. Zum Beispiel ist es denkbar, dass die jeweilige Blattanschlussschleife 10 an ihrem Schlaufenfußbereich 10a aufgeschlitzt

ist, so dass bei einem mehrblättrigen Rotor die Schlaufen 10 durch ineinanderstecken in der in Fig. 1 gezeigten Konfiguration montiert werden können. Durch geeignete Verbindungsmittel, z.B. Verschraubungen könnte der offene Blattanschlussstrang 10 dann wieder geschlossen werden. Auch eine zwei- oder
5 mehrteilige Schlaufenkonstruktion ist denkbar.

Die jeweilige Blattanschlussschleife 10 und ihr Schlaufenfußbereich 10a besitzen einen abgeflachten, streifenförmigen Querschnitt. Dadurch ist die Blattanschlussschleife 10 in Schlagrichtung der Rotorblätter 8 biegeweich bzw.
10 schlagweich und in Schwenkrichtung biegesteif bzw. schwenksteif ausgebildet. Gleichzeitig ergibt sich im Blattanschlussbereich eine relativ hohe Torsionsweichheit, was für eine lagerlose Blattwinkelverstellung von Vorteil ist.

Wie besonders deutlich aus Fig. 2 hervorgeht, besitzt die Blattanschlussschleife 10 einen von der Achse A des Rotormastes 4 radial beabstandeten Verbindungsabschnitt 12, der hier als dünne bzw. flache, schwenksteife Verbindungs-
15 lasche 12 ausgestaltet und in Längsrichtung L des Rotorblattes 8 an der der Rotorblattspitze abgewandten Seite der Blattanschlussschleife 10 angeordnet ist. An dieser Verbindungs-
20 lasche 12 ist die Blattanschlussschleife 10 über einen Bolzen 14, der sich durch eine Bohrung oder Öffnung in der Verbindungs-
25 lasche 12 erstreckt, oder ein anderes geeignetes Verbindungselement drehfest mit dem Rotorkopfstern 6 bzw. dessen Armen 6a verbunden (vgl. Fig. 1). Die Bohrung oder Öffnung kann in radialer Richtung des Rotors in geringfügigem Maße als Langloch ausgeführt sein.

Die Länge der Verbindungs-
25 lasche 12 und damit der radiale Abstand zur Rotorachse A sowie die Dicke der Verbindungs-
30 lasche 12 beeinflusst hierbei den fiktiven Schlaggelenksabstand und die Schlagsteifigkeit, die Länge und Breite die Schwenksteifigkeit. Die Schwenksteifigkeit wird zusätzlich auch durch den gegenseitigen Abstand der Schlaufenarme 10b, 10c sowie der Breite des Schlaufenfußbereiches 10a beeinflusst.

Wie in Fig. 1 veranschaulicht, sind die Blattanschlussschlaufen 10 der Rotorblätter 8 ineinanderhängend ausgebildet bzw. ineinandergeschachtelt oder hängen im montierten Zustand des Rotors ineinander. Diese Ineinanderschachtelung kann bei in sich geschlossenen Blattanschlussschlaufen 10 entweder bei deren Fertigung
5 oder bei zu öffnenden Schlaufen bei deren Montage erfolgen.

Aus den Fig. 1 und 2 geht ein weiteres wichtiges Ausgestaltungsdetail des erfindungsgemäßen Rotors hervor. Wie in diesen Zeichnungen verdeutlicht, erstreckt sich der Rotormast 4 im Bereich des Rotorkopfes 2 anbindungsfrei bzw.
10 berührungslos durch eine ringartige Fliehkrafthülse 16 hindurch. Und die jeweilige Blattanschlussschleife 10 ist derart um die Fliehkrafthülse 16 herum gelegt, dass der Innenumfang des um den Rotormast 4 und die Fliehkrafthülse 16 verlaufenden Schlaufenabschnitts großflächig am Außenumfang der Fliehkrafthülse 16 anliegt. Bei dem vierblättrigen Rotor des vorliegenden Ausführungsbeispiels umschlingen
15 die Blattanschlussschlaufen 10 die Fliehkrafthülse 16 also jeweils um einen Winkel von 90° versetzt.

Zwischen der Fliehkrafthülse 16 und dem Rotormast 4 besteht, wie gesagt, keine direkte Anbindung, was hier dadurch erreicht ist, dass der Innendurchmesser der
20 Fliehkrafthülse 16 größer als der Außendurchmesser des Rotormastes 4 ist und ein Freiraum zwischen der Fliehkrafthülse 16 und dem Rotormast 4 besteht. Die Fliehkrafthülse 16 ist damit frei gegenüber dem Rotormast 4 beweglich. Man könnte auch sagen, die Fliehkrafthülse 16 ist schwimmend angeordnet. Sie ist z.B. aus einem metallischen Werkstoff hergestellt, sie kann jedoch auch aus einem
25 Faserverbundwerkstoff oder anderen geeigneten Materialien gefertigt sein.

Damit die Fliehkrafthülse 16 nicht axial verrutscht oder herausfällt, kann zwischen der Fliehkrafthülse 16 und dem Rotormast 4 z.B. ein elastisches Zwischenelement (ein Elastomerelement oder dergleichen) angeordnet sein. Dieses ist in der Fig. 1
30 der Übersichtlichkeit halber nicht dargestellt. Das elastische Zwischenelement kann auch Dämpfungsfunktionen übernehmen und ist gleichzeitig der Anschlussweichheit der Rotorblätter 8 zuträglich, ohne hierbei die insbesondere für das Schlagen der

Rotorblätter 8 erforderliche Biegeverformung der Blattanschlussschlaufen 10 zu behindern. Für eine axiale Sicherung der Fliehkrafthülse 16 kann diese z.B. auch einen oder mehrere Kragen, Flansche, Vorsprünge oder andere Sicherungselemente aufweisen, welche sich z.B. am Rotorkopfsterm 6 und/oder den
5 Blattanschlussschlaufen 10 abstützen.

Fig. 3 zeigt eine schematische Seitenansicht des Rotors von Fig. 1 in Blickrichtung der Pfeile III-III in Fig. 1. Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit sind in der Fig. 3 nur zwei Rotorblätter 8 dargestellt, und der Rotorkopfsterm 6 sowie der Rotormast 4 wurden weggelassen. Wie der Zeichnung entnehmbar ist, besitzt eine jeweilige Blattanschlussschleife 8 zwei Schlaufenabschnitte (d.h. die Schlaufenarme 10b, 10c), die sich bezogen auf die Axialrichtung bzw. Achse A des Rotormastes 4 weitgehend in unterschiedlichen Ebenen relativ zueinander erstrecken und zu einer Schlaufe vereinigt sind. Dies ist für die Ineinanderschachtelung der einzelnen
10 Rotorblattschlaufen 10 wichtig und gewährleistet gleichzeitig, dass alle Rotorblätter 8 in einer gemeinsamen Ebene liegen.

Grundsätzlich ist es im Sinne der Erfindung jedoch auch denkbar, dass die Schlaufenabschnitte 6a der Blattanschlussschleife 10 selbst in einer gemeinsamen
20 Ebene liegen. Bei einem Rotor mit mehreren Rotorblättern 8 können die Blattanschlussschlaufen 10 dann z.B. in Axialrichtung A des Rotormastes 4 übereinander gelegt oder geschichtet sein. Der dadurch entstehende axiale Versatz der Rotorblätter 8 ist hierbei aufgrund der geringen Dicke der Blattanschlussschlaufen 10 vernachlässigbar.

Bei der erfindungsgemäßen Rotorkonstruktion trägt die gegenüber dem Rotormast 4 frei bewegliche ringartige Fliehkrafthülse 16 die im laufenden Rotorbetrieb an den drehenden Rotorblättern 8 auftretenden sehr hohen Fliehkräfte ab und verhindert, dass diese direkt auf den Rotormast 4 lasten. Da mehrere Rotorblätter 8 über ihre
30 Blattanschlussschlaufen 10 an die Fliehkrafthülse 16 angeschlossen sind und sich die Rotorblätter 8 paarweise gegenüberliegen, wird über die Fliehkrafthülse 16 gewissermaßen ein durchgehender, unterbrechungsfreier Fliehkraftstrang zu dem

jeweils gegenüberliegenden Rotorblatt 8 gebildet, wobei der Kraftfluss um den Rotormast 4 herum verläuft. Dies hat den Vorteil, dass die beträchtlichen Fliehkräfte eines jeweiligen Rotorblattes 8 direkt durch das gegenüberliegende Rotorblatt 8 abgesetzt und kompensiert werden. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass dieses
5 Prinzip auch dann funktioniert, wenn der Rotor über eine Rotorblattzahl, z.B. eine ungerade Rotorblattzahl, verfügt, bei dem die sich die jeweiligen Rotorblätter 8 nicht um 180° versetzt gegenüberliegen, da sich die jeweiligen Fliehkraftanteile entsprechend verteilen.

10 Der große Durchmesser der Fliehkrafthülse 16 in Verbindung mit einem entsprechend angepassten großen Schlaufenradius der Blattanschlussschlaufen 10 gewährleistet eine günstige Krafteinleitung und Belastungsverteilung. Diese Bauteile können daher mit einer geringen Wandstärke gebaut werden, was wiederum der Schlagweichheit und einem geringen Gewicht zugute kommt.

15 Die Verbindungslaschen 12 haben bei dem erfindungsgemäßen gelenklosen Rotor die Aufgabe, die im laufenden Rotorbetrieb auftretenden Schwenkmomente aufzunehmen und das Antriebsdrehmoment auf den Rotor zu übertragen. Da die von den Rotorblättern 8 ausgehenden Fliehkräfte, wie gesagt, von der
20 Fliehkrafthülse 16 abgetragen werden, sind die Verbindungslaschen 12 im normalen Rotorbetrieb nicht durch diese Fliehkräfte beaufschlagt. Die an den Verbindungslaschen 12 auftretenden Belastungen sind deshalb nur relativ gering, und die Verbindungslaschen 12 können folglich sehr dünn, leicht und in Schlagrichtung sehr biegeweich ausgeführt werden. Darüber hinaus bieten die
25 Verbindungslasche 12 und der Bolzen 14, mit dem die Lasche 12 am Rotorkopfsterne 6 befestigt ist, im Falle des Versagens oder übermäßigen Deformierens der Fliehkrafthülse 16 eine vorteilhafte Redundanz, da sie dann die Fliehkräfte der Rotorblätter 8 noch im Notbetrieb aufnehmen und auf den Rotorkopfsterne 6 übertragen können.

30

Insgesamt sind bei dem erfindungsgemäßen Rotor also diejenigen Bereiche, welche die Rotorblatt-Fliehkräfte abtragen (d.h. die reinen Blattanschlussschlaufen 10) und

diejenigen Teile, welche ein Antriebsdrehmoment vom Rotormast auf den Rotorkopf übertragen (d.h. die Verbindungsflaschen 12), sowohl funktional als auch belastungsmäßig voneinander getrennt in einem gemeinsamen Bauteil ausgebildet. Der ganze Rotorkopf 2 kann somit - nur beeinflusst durch die Steifigkeit bzw. Biegeweichheit der Verbindungsflaschen 12 und der Blattanschlussschlaufen 10 - in Schlagrichtung, verschiedene Neigungen gegenüber dem Rotormast 4 einnehmen. Dies erlaubt es zum Beispiel, den erfindungsgemäßen Rotor ohne diskrete Elemente nur durch die Elastizität der beteiligten Bauelemente als einen sogenannten Gimbalrotor auszugestalten.

10

Fig. 4 zeigt eine schematische, stark vereinfachte perspektivische Darstellung eines erfindungsgemäßen Rotors gemäß einer zweiten Ausführungsform. Diese Version entspricht weitgehend der von Fig. 1 bis 3. Davon abweichend besitzen die Blattanschlussschlaufen 10 jedoch keine Verbindungsflasche und der Rotorkopfsterm 6 mit seinen Armen 6a ist im Vergleich zu Fig. 1 um ca. 45° versetzt angeordnet. Die Blattanschlussschlaufen 10 sind an einem Überlappungsbereich ihrer jeweiligen Schlaufenstränge jeweils über einen Bolzen 14 oder ein anderes geeignetes Verbindungsmittel sowohl drehfest mit dem Rotorkopfsterm 6 als auch untereinander verbunden. Pro Schlaufe 10 ergeben sich damit jeweils zwei Verbindungsstellen.

20

Der erfindungsgemäße Rotor wird bei einem Drehflügelflugzeug, insbesondere bei einem Hubschrauber oder einem Kipprotorhubschrauber eingesetzt. Ein solches Drehflügelflugzeug kann je nach Ausgestaltungsform einen oder mehrere erfindungsgemäße Rotoren aufweisen.

25

Die Erfindung ist nicht auf die obigen Ausführungsbeispiele, die lediglich der allgemeinen Erläuterung des Kerngedankens der Erfindung dienen, beschränkt. Im Rahmen des Schutzzumfangs kann der erfindungsgemäße Rotor vielmehr auch andere als die oben konkret beschriebenen Ausgestaltungsformen annehmen. Der Rotor kann hierbei insbesondere Merkmale aufweisen, die eine Kombination aus den Merkmalen des Hauptanspruchs und allen oder nur einigen Einzelmerkmalen der zugehörigen Unteransprüche darstellen, wie durch die jeweiligen Rückbezüge

30

angedeutet ist. Der erfindungsgemäße Rotor kann insbesondere für eine andere Anzahl von Rotorblätter als in den obigen Beispielen ausgebildet sein. Er kann z.B. auch ein, zwei, drei, fünf oder mehr Rotorblätter aufweisen. Im Falle eines einblättrigen Rotors kann beispielsweise ein Rotorblatt-Gegengewicht, welches ebenfalls eine Anschlussschleife aufweist und gegenüber dem Rotorblatt um 180° versetzt angeordnet ist, die Fliehkraftkompensation übernehmen. Des Weiteren ist es möglich, dass die Blattanslussschleife mehrere nebeneinander und/oder übereinander verlaufende Schlaufenstränge oder Schlaufenschichten besitzt, welche sowohl untereinander verbunden als auch lose übereinanderliegend angeordnet sein können. Die Blattanslussschleife kann also in mehreren Richtungen und Ebenen nochmals aufgeteilt sein.

Anstelle einer aus einem geschlungenen Schlaufenstrang gebildeten Blattanslussschleife kann auch eine Variante vorgesehen sein, bei der die Schleife in Form eines mit einer Bohrung versehenen Lochleibungslaminats ausgebildet ist, wobei sich die Rotorachse A bzw. der Rotormast durch diese Bohrung erstreckt. Ein solches Lochleibungslaminat ist insbesondere aus einem plattenförmigen Werkstück herstellbar.

Eine Blattanslussschleife kann zudem nicht nur eine, sondern auch mehrere Verbindungsfaschen aufweisen, die nicht oder nicht nur in Längsrichtung des Rotorblattes an der einer Rotorblattspitze abgewandten Seite der Blattanslussschleife angeordnet sein müssen, sondern auch an anderen Stellen der Blattanslussschleife vorgesehen sein können.

Bezugszeichen in den Ansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen dienen lediglich dem besseren Verständnis der Erfindung und sollen den Schutzbereich nicht einschränken.

Bezugszeichenliste

Es bezeichnen:

5		
	2	Rotorkopf
	4	Rotormast
	6	Rotorkopfsterne / Drehmomentenübertragungselement
	6a	Arme von 6
10	8	Rotorblätter
	10	Blattanschlussschleife
	10a	Schlaufenfußbereich
	10b	Schlaufenarm
	10c	Schlaufenarm
15	12	Verbindungsflasche / Verbindungsabschnitt
	14	Bolzen
	16	Ringartige Fliehkrafthülse
	A	Rotorachse
20	L	Rotorblatt-Längsachse

Patentansprüche

- 5 1. Gelenkloser Rotor, insbesondere für ein Drehflügelflugzeug, umfassend:
einen Rotorkopf (2), einen Rotormast (4) mit einer Rotorachse (A), ein
drehfest mit dem Rotormast verbundenes Drehmomenten-
übertragungselement (6), mindestens ein Rotorblatt (8) und einen
rotorkopfseitigen Rotorblattanschluss mit einer fliehkraftabtragenden
Blattanschlussschleife (10), welche die Rotorachse (A) bzw. den Rotormast
10 (4) umschlingt und mit dem Drehmomentenübertragungselement (6) drehfest
verbunden (12, 14) ist.
- 15 2. Rotor nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
sich die Blattanschlussschleife (10) in Längsrichtung (L) des Rotorblattes (8)
erstreckt.
- 20 3. Rotor nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Blattanschlussschleife (10) in sich geschlossen ist.
- 25 4. Rotor nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Blattanschlussschleife (10) offen ausgebildet ist und über mindestens ein
Schlaufenschließelement zum Verschließen der offenen
Blattanschlussschleife (10) verfügt.
- 30 5. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Blattanschlussschleife (10) einen abgeflachten, streifenförmigen
Schlaufenstrang besitzt.

6. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Blattanschlussschleufe (10) mindestens zwei Schlaufenabschnitte (10b,
10c) besitzt, die sich weitgehend in unterschiedlichen Ebenen relativ
zueinander erstrecken und zu einer Schleufe vereinigt sind.
7. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
Blattanschlussschleufe (10) mehrere nebeneinander und/oder übereinander
verlaufende Schlaufenstränge besitzt.
8. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Blattanschlussschleufe (10) integraler Bestandteil des Rotorblattes (8) ist.
9. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche, mit
mehreren Rotorblätter (8),
dadurch gekennzeichnet, dass
die Blattanschlussschleifen (10) der mehreren Rotorblätter (8) in
Axialrichtung (A) des Rotormastes (4) übereinander angeordnet sind.
10. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche, mit
mehreren Rotorblätter (8),
dadurch gekennzeichnet, dass
die Blattanschlussschleifen (10) der mehreren Rotorblätter (8)
ineinanderhängend ausgebildet sind.

11. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche, mit mehreren Rotorblätter (8),
dadurch gekennzeichnet, dass
5 die Blattanschlussschlaufen (10) der mehreren Rotorblätter (8) an mindestens einer Stelle miteinander verbunden (14) sind.
12. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
10 die Blattanschlussschleufe (10) in Form eines mit einer Bohrung versehenen Lochleibungslaminats ausgebildet ist und sich die Rotorachse (A) durch diese Bohrung erstreckt.
13. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
15 die Blattanschlussschleufe (10) mindestens einen von der Achse (A) des Rotormastes (4) radial beabstandeten Verbindungsabschnitt (12) besitzt, an dem die Blattanschlussschleufe (10) mit dem Drehmomentenübertragungselement (6) verbunden ist.
- 20 14. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
der Verbindungsabschnitt als mindestens eine Verbindungslasche (12) ausgestaltet ist.
- 25 15. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die mindestens eine Verbindungslasche (12) in Längsrichtung (L) des Rotorblattes (8) an der einer Rotorblattspitze abgewandten Seite der
30 Blattanschlussschleufe (10) angeordnet ist.

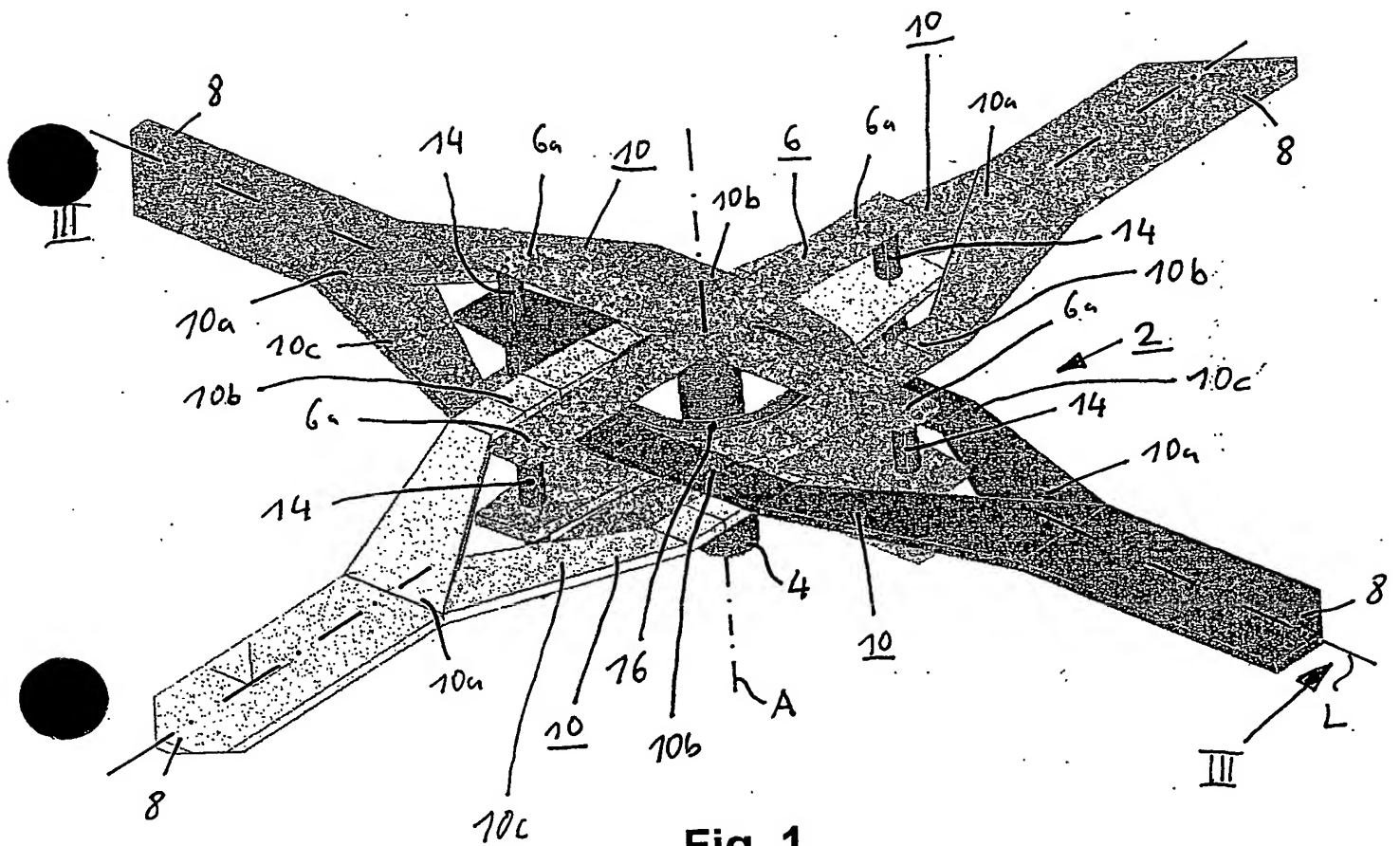
16. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
5 sich der Rotormast (4) im Bereich des Rotorkopfes (2) anbindungsfrei durch
eine ringartige Fliehkrafthülse (16) erstreckt, und die Blattanschlussschlaufe
(10) um die Fliehkrafthülse (16) herum gelegt ist.
17. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
10 zwischen der ringartigen Fliehkrafthülse (16) und dem Rotormast (4) ein
elastisches Zwischenelement angeordnet ist.
18. Rotor nach einem oder mehreren der vorhergenannten Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
15 dieser zusätzlich als lagerloser Rotor ausgebildet ist.
19. Drehflügelflugzeug, insbesondere ein Hubschrauber, insbesondere ein
Kipprotorhubschrauber, umfassend mindestens einen gelenklosen Rotor
nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 18.

Zusammenfassung

- 5 Gelenkloser Rotor, insbesondere für ein Drehflügelflugzeug, umfassend: einen Rotorkopf (2), einen Rotormast (4) mit einer Rotorachse (A), ein drehfest mit dem Rotormast (4) verbundenes Drehmomentenübertragungselement (6), mindestens ein Rotorblatt (2) und einen rotorkopfseitigen Rotorblattanschluss mit einer fliehkraftabtragenden Blattanschlussschlaufe (10), welche die Rotorachse (A) bzw. den Rotormast (4) umschlingt und mit dem Drehmomentenübertragungselement (6) drehfest verbunden (12, 14) ist.
- 10



(Fig. 1)



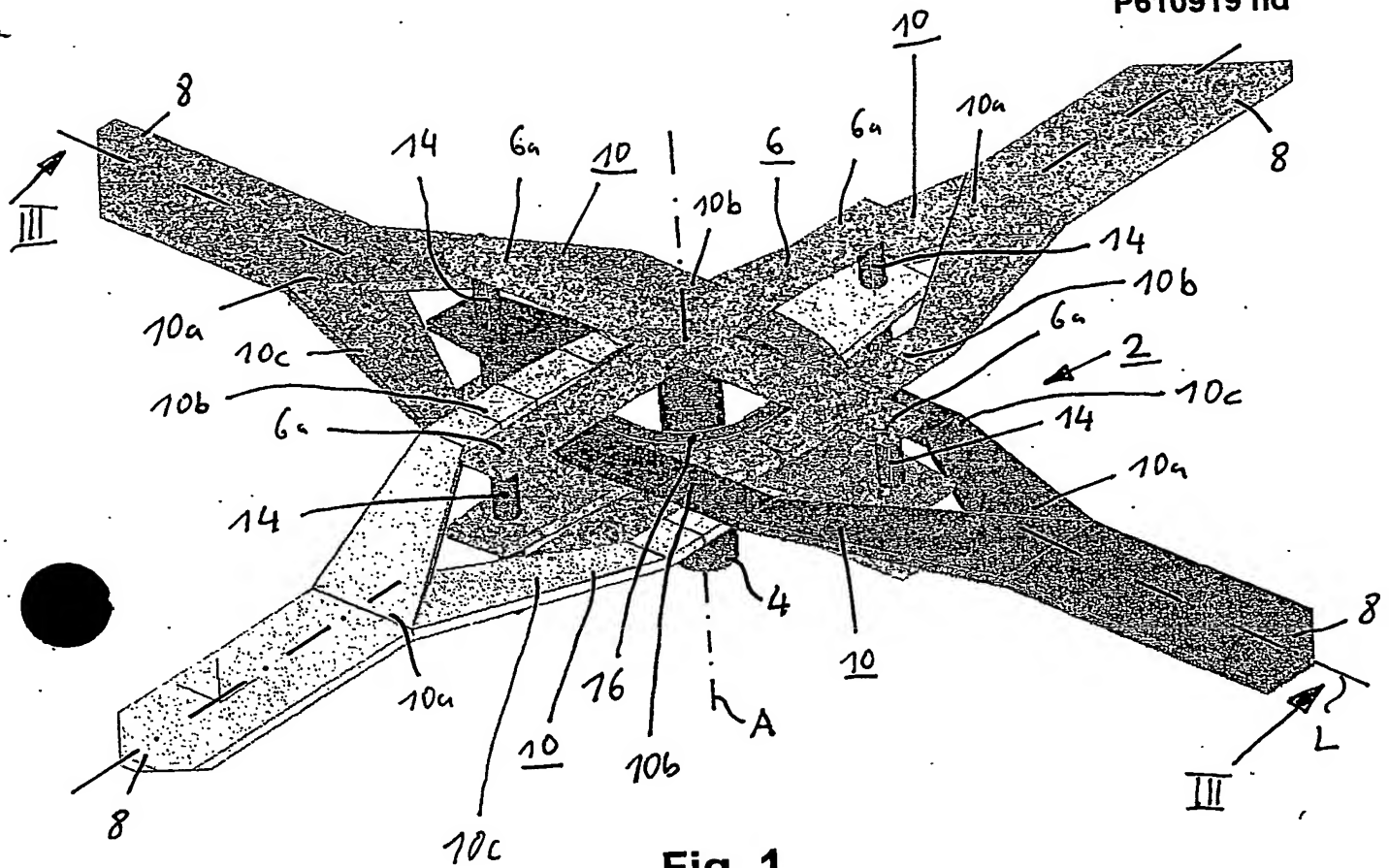


Fig. 1

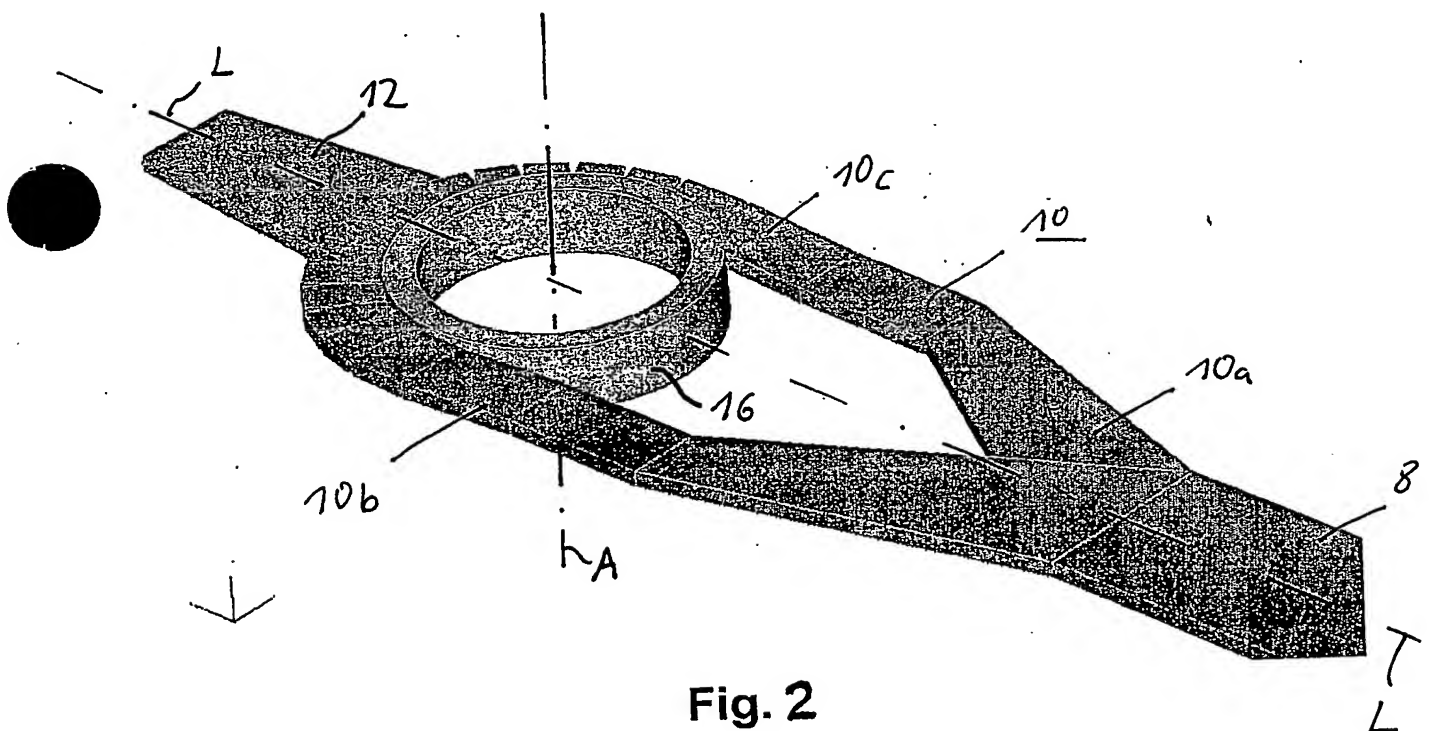


Fig. 2

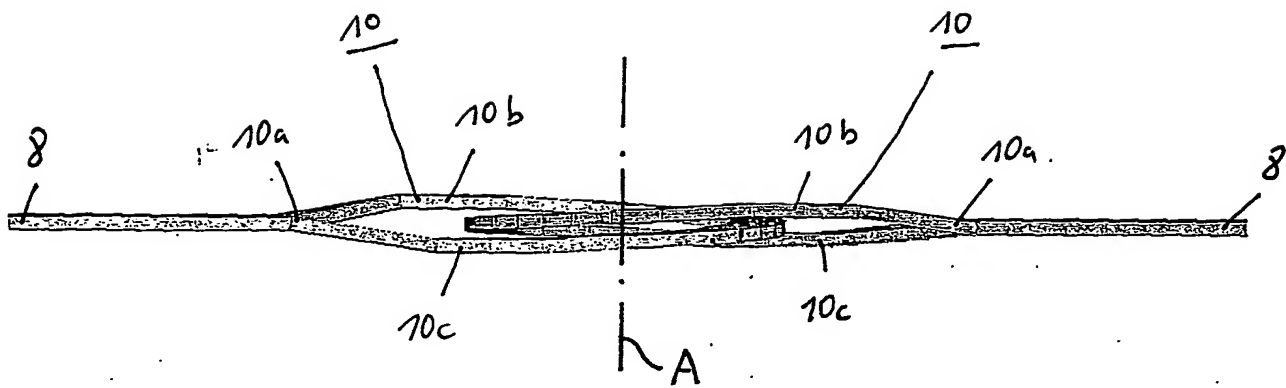


Fig. 3

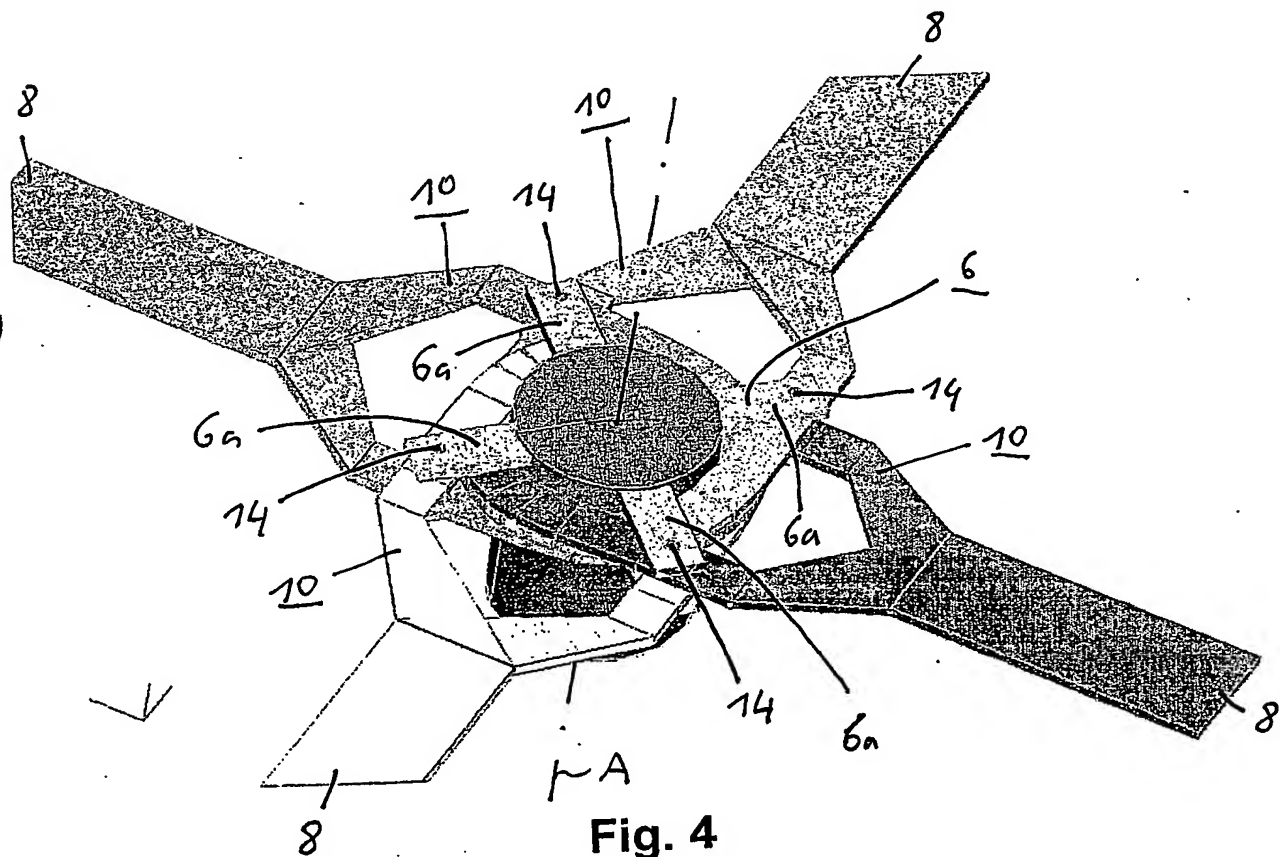


Fig. 4